

FOLYADÉKBEHATOLÁSOS VIZSGÁLATOK ELEMZÉSE SZÁMÍTÓ- GÉPES KÉPFELDOLGOZÁS ALKALMAZÁSÁVAL

Török Dániel

MSc hallgató, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: torokdani1997@gmail.com

Petrik Máté

tanársegéd, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: petrik@uni-miskolc.hu

Szepesi L. Gábor

egyetemi docens, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szepesi@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A roncsolásmentes vizsgálatok napjaink egyik legfontosabb vizsgálati eljárásai közé tartoznak. Egyik legnagyobb előnyük a többi vizsgálatéhoz képest, hogy folyamatos üzemelés közben is lehetőségünk nyílik a vizsgálat elvégzésére anélkül, hogy magát a folytonos üzemelést megszakítsunk. Jelen tanulmányban a folyadékbehatolásos, más néven penetrációs vizsgálatokkal végzett kísérletek eredményeit, és a hibák összehasonlítására szolgáló számítógépes eljárást mutatjuk be.

Kulcsszavak: penetráció, vizsgálat, képfeldolgozás

Abstract

The nondestructive testing methods nowadays are one of the most important examinations. One of their biggest advantages over other test methods that they can be performed during continuous operation without interrupting it. This present study describes the results of the penetration experiments and a computational procedure for comparing the number of surface cracks.

Keywords: penetration, inspection, image processing

1. Bevezetés

A vegyipari gyárak és üzemek általában folyamatos üzemeltetésűek, egész évben működnek, kivételt képeznek ez alól a tervszerű karbantartást biztosító leállások. A tervezett üzemszünet során szükséges elvégezni a hibafeltárásokra alkalmas penetrációs vizsgálatokat, hogy elkerülhető legyen egy esetleges nem tervezett meghibásodás miatti leállítás.

A vegyiparban számos hegesztett kötéssel találkozhatunk különböző berendezéseken pl. csővezeték, tartály, kolonna, reaktor vagy bármilyen más vegyipari nyomástartó berendezés. Ezek kötések vizsgálata nagyon fontos tevékenység a vegyipari üzemekben, hiszen egy hibás hegesztett kötésből kiinduló repedés emberi életet követelő baleseteket, valamint nagymértékű környezeti katasztrófát is egyaránt okozhat.

1.1. Roncsolásmentes vizsgálatok alapjai

Roncsolásmentes vizsgálatok (RMV, angolból származó rövidítéssel: NDT, nondestructive testing), alatt azon eljárások összességét értjük, amelyek olyan módon szolgáltatnak információkat a vizsgált tárgyról, hogy azt sem a vizsgálat során, sem az azt követően nem károsítják. Ennek köszönhetően az RMV hatékonyan alkalmazható a termelési folyamat bármely fázisában és a vizsgálandó alkatrész vagy munkadarab hasznos, üzemi élettartamának teljes ideje alatt. A roncsolásos vizsgálattal ellentétben - amellyel csak bizonyos minta vizsgálata lehetséges (mintavételes vizsgálat) -, roncsolásmentes vizsgálat során a teljes anyagmennyiség ellenőrizhető, ami javítja a termékek biztonságát, minőségét és megbízhatóságát.

A defektológiai, anyagjellemzési és méret-ellenőrzési feladatok esetében az anyagok, elemek stb. roncsolásmentes módszerrel történő vizsgálatának lényege a belső minőség biztosítása, amely az alábbi négy lépést foglalja magába:

- a megfelelő módszerek és technikák kiválasztása,
- indikációk gyűjtése (adatgyűjtése),
- indikációk értelmezése,
- indikációk értékelése.

A helyes választás érdekében fontos figyelembe venni az anyag természetét, szerkezetét és a termék alakját, valamint ismerni kell a kimutatni kívánt heterogenitások típusait. Figyelembe kell venni, hogy minden módszernek vannak korlátai az anyag természete és geometriája, a vizsgálati terület és a vizsgálat által lehetővé tett alkalmazási sebesség miatt [1]. A technológia fejlődésével nem csupán a fémfelületek és hegesztési varratok penetrációját lehet elvégezni ilyen technikával, hanem például szálerősítéses kompozitok [2], és akár még épületek [3] és betonszerkezetek [4] esetében is alkalmazható.

1.2. Fizikai alapok

A folyadékbehatolási vizsgálat háttere a kohéziós és adhéziós erők, a folyadék felszínének alakja, a nedvesítő hatás, a felületi feszültség, a viszkozitás, valamint a kapillaritás, mind fizikai alapokon nyugszik. A mágnesezhető poros vizsgálat esetében a fizikai hátteret a mágnesség, a mágnesezés, a mágneses erőter vonalai, a mágneses pólusok, indukció és fluxus adják.

Nehezen vizsgálható körülmények között inkább a folyadékbehatolási vizsgálat a célszerűbb, továbbá abban az esetben is, amikor nem mágnesezhető a vizsgálni kívánt anyag. A mágnesezhető poros vizsgálatot akkor alkalmazzuk, amikor a vizsgálni kívánt objektum le van festve, vagy csak vékony vastagságú bevonat fedi, valamint ez az eljárás kevésbé függ az emberi tényezőtől.

A folyadékbehatolási vizsgálatot az MSZ EN ISO 3452 szabvány taglalja részletesen, míg a mágnesezhető poros vizsgálat alaposabban az MSZ EN ISO 9934 szabványban található meg.

1.3. Eszközök, berendezések, etalonok

A folyadékbehatolási vizsgálatok elvégzéséhez számos eszköz, illetve berendezés vehető igénybe. Ezek a következők:

- MR-1 festékdifúziós műhiba etalon (gyártási szám:4/93; mérete: Ø57 mm; repedés mélysége: 30-50 µm; kódszáma: 176514; forgalmazó: Testor Bt.);

- speciális tisztító: MR 79 (adagszáma: 1199A); behatoló folyadék: MR 311-R (adagszáma:1052A); köztes tisztító: MR 85 (adagszáma:1093A); előhívó: MR 70 (adagszáma:1167A); tisztító: MR 91 H (adagszám:100706); behatoló folyadék: MR 68 H (adagszám: 100206); előhívó: MR 70 H (adagszám:110706); behatoló folyadék: MR 68 C (adagszáma:1017A);
- az etalon megtisztításához szükséges törlerongyok,
- hőkamera (Fluke Ti32 HZ);
- az etalon $T = -10^{\circ}\text{C}$ -ra való lehűtésekor az alkohol és a szén-dioxid keverékének hőmérséklet mérésére használt hőmérő;
- a korábban megemlített rezsó, amellyel az etalont $T = +120^{\circ}\text{C}$ -ra lett melegítve;
- ultrahangos tisztító készülék, amelynek típusa James Products Limited Ultra 8050D-H, amellyel biztosítható az, hogy a különböző mérések során ne maradjon behatolószer az etalon hibáiban;
- stopperóra, amellyel a különböző behatolási és előhívási idők mérhetők;
- Canon EOS 600D típusú fényképezőgép;
- Digital Photo Professional fényképkészítő program, amellyel a mérések közben az etalon különböző állapotai lettek dokumentálva.

2. A folyadékbehatolási vizsgálat

A penetrációs felületvizsgálat esetén a következő lépéseket kell betartani [5]:

1. a felület előkészítése,
2. száradás,
3. behatoló folyadék alkalmazása,
4. a behatolás ideje,
5. a felesleg eltávolítása,
6. a felesleges behatoló folyadék eltávolításának ellenőrzése,
7. száradás,
8. előhívószer alkalmazása,
9. megfigyelés,
10. előhívás ideje,
11. szemrevételezés és jelentés,
12. végső tisztítás.

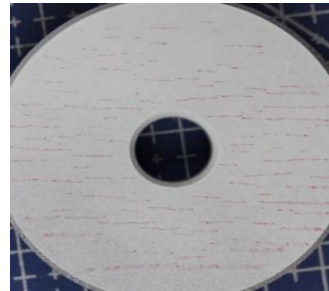
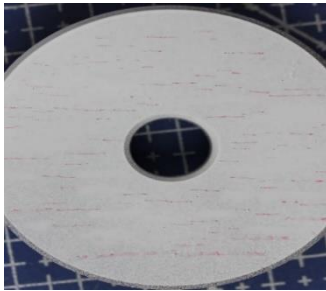
A vizsgálatok során az alábbiakban felsorolt tényezők hatását vizsgáltuk ugyanazon az etalonon:

- az etalon hőmérséklete (T),
- a behatoló folyadék behatolási ideje (t_b),
- az előhívószer előhívási ideje (t_e),
- a felület előkészítése (olajos vagy megtisztított),
- a vizsgálószer típusai („meleg”; „hideg”; „szobahőmérsékletű”).

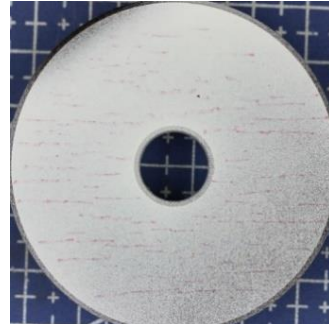
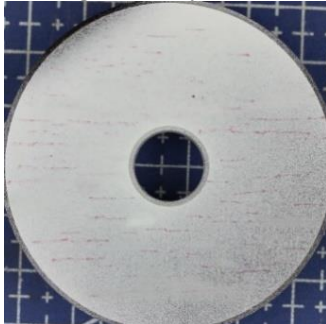
A kísérletek dokumentálása fényképekkel történt, melyek bemutatása a következő alfejezetekben látható.

2.1. 18°C-on történt vizsgálatok

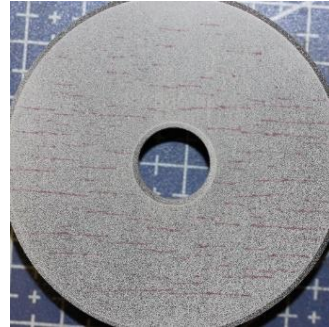
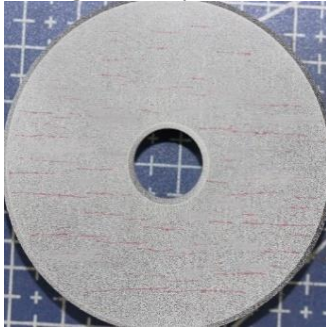
A mérésekből egyértelműen látszik, hogy ahogyan növekszik a behatolási idő, először 5 percről 15 percre, majd 30 percre, úgy egyre jobban látszanak a felületen lévő repedések, mivel több idő jut a behatoló folyadéknak beszívárogni a folytonossági hiányokba. Az is megállapítható, hogy az előhívási idő is erősen befolyásolja a hibák kimutatását, ez a mérések során is tapasztalható, ahogyan 10 percről 25 percre nő az előhívási idő egyre jobban szembetűnnek a hibák is.



1. ábra: megtisztított felület, $T = +18^\circ\text{C}$, $t_b = 5 \text{ min}$; $t_e = 10 \text{ min}$ (balra); $t_e = 25 \text{ min}$ (jobbra)



2. ábra: megtisztított felület, $T = +18^\circ\text{C}$, $t_b = 15 \text{ min}$; $t_e = 10 \text{ min}$ (balra); $t_e = 25 \text{ min}$ (jobbra)



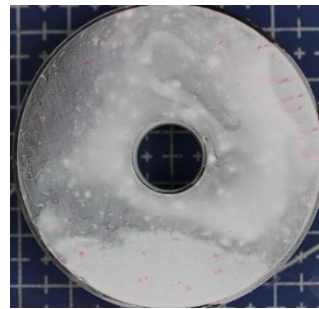
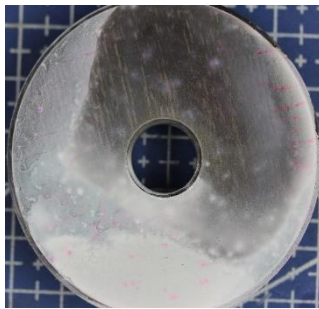
3. ábra: megtisztított felület, $T = +18^\circ\text{C}$, $t_b = 30 \text{ min}$; $t_e = 10 \text{ min}$ (balra); $t_e = 25 \text{ min}$ (jobbra)

Ezen mérések alkalmával a szabvány által előírt szobahőmérsékletű vizsgálószerek lettek alkalmazva, amelyek az MR 79, MR 311-R, MR 85 és MR 70 voltak.

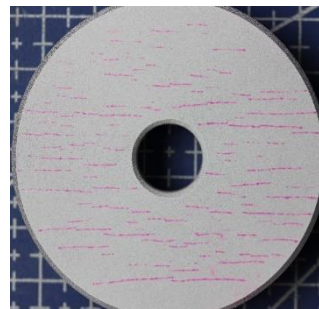
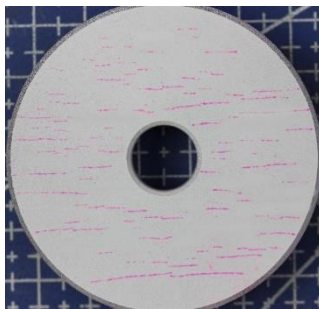
Az a megállapítás itt is megállja a helyét, hogy ahogyan növekszik a behatolási és előhívási idő, úgy egyre több indikáció nyerhető a vizsgálat végén.

Az is látható, hogy a $t_b=5$ min mérések esetében még egyáltalán nem hozza felszínre a hibákat az előhívó, mivel olyan rövid ideig állt a felületen a behatoló folyadék, hogy nem tudott befolyjni az anyagfolytonossági hibákba és a folyamatos párolgás miatt az előhívó szer sem tudott megfelelőképpen hatni.

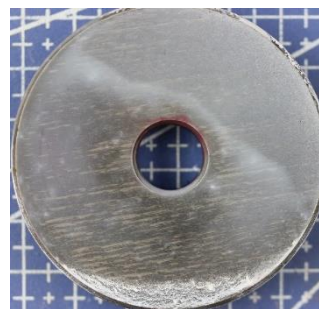
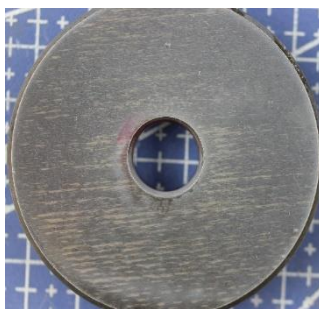
Nagy jelentőséggel bír az is, hogy milyen vizsgálószer kerül alkalmazásra a vizsgálat elvégzésekor. Egyértelműen látható a fényképeken, hogy a kifejezetten erre a hőmérséklet tartományra vonatkozó vizsgálószerekkel elvégzett kísérletek esetében sokkal több indikáció látható.



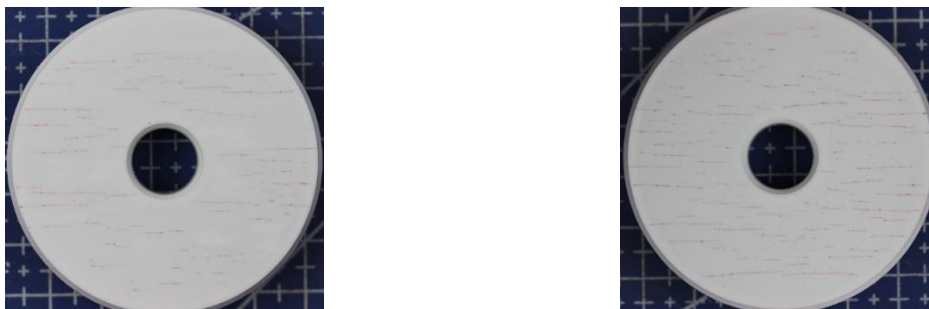
4. ábra: megtisztított felület, $T = -10^\circ\text{C}$, $t_b = 5$ min; $t_e = 10$ min (balra); $t_e = 25$ min (jobbra) MR 68 C behatoló folyadékkal



5. ábra: megtisztított felület, $T = -10^\circ\text{C}$, $t_b = 15$ min; $t_e = 10$ min (balra); $t_e = 25$ min (jobbra) MR 68 C behatoló folyadékkal



6. ábra: megtisztított felület, $T = -10^\circ\text{C}$, $t_b = 5$ min; $t_e = 10$ min (balra); $t_e = 25$ min (jobbra) MR 311-R behatoló folyadékkal



7. ábra: megtisztított felület, $T = -10^{\circ}\text{C}$, $t_b = 15 \text{ min}$; $t_e = 10 \text{ min}$ (balra); $t_e = 25 \text{ min}$ (jobbra) MR 311-R behatoló folyadékkal

A mérések most $+120^{\circ}\text{C}$ -on kerültek elvégzésre, szintúgy a behatolási és előhívási idők változtatásával, az adott hőmérsékleten szabványosan elfogadott vizsgálószerek alkalmazásával, valamint a szobahőmérsékletű mérésekre alkalmas vizsgálószerekkel is vizsgálva az etalont, hogy milyen eltérések tapasztalhatók a két vizsgálószér között, pontosan ugyan úgy, mint a „hideg” mérések esetében.

Ezen a hőmérsékleten elvégzett vizsgálatra a szabvány által előírt behatolási idő 5 perc, míg az előhívási idő változatlanul 10 és 30 perc között mozoghat. A mérések elvégzésekor meghatározó behatolási időnek $t_b = 5 \text{ min}$, míg előhívási időnek $t_e = 10 \text{ min}$; 25 min időtartamokat vettem alapul. Az etalon $+120^{\circ}\text{C}$ -ra való melegítése rezson történt.

Ezen mérések elvégzésekor a szabvány által előírt 50°C hőmérséklet feletti vizsgálószerek lettek használva, amelyek az MR 91 H, MR 68 H és MR 70 H voltak, a szobahőmérsékleten alkalmazható vizsgálószerek pedig a már korábban is használt MR 79, MR 311-R, MR 85 és MR 70 szerek voltak.

3. Képfeldolgozás - MATLAB

3.1. Képek beolvasása

Az előző fejezetekben láthatók az elvégzett kísérletek eredményei, azonban a mérnöki gyakorlatban sok esetben nem elegendő szubjektív módon a következtetések levonása. Jelen esetekben viszont eddig csak szubjektív módon tudunk nyilatkozni az előhívási idővel és vizsgálószerekkel kapcsolatban. Tovább nehezíti az eredmények kiértékelését az egyén különböző testi sajátosságai (éleslátás, színlátás stb.). A modern technikának köszönhetően azonban ezek a személyek közötti különbségek eltüntethetők. Kutatásunkban a jelzett indikációk nagyságának összehasonlítása a digitális fényképezőgéppel készített fotók alapján történt, és egy számítógépes eljárást alkalmazva már számszerűsíteni is lehet a hibák értékét. Ennek alapját az informatikában alkalmazott RGB-kódok jelentették. Hasonló elven számos más folyamatban jelentősége lehet a módszernek, példaként szeretnénk bemutatni az alumínium hab modellezésére vonatkozó kutatásokat [6], és járműveken keletkező repedések vizsgálatának lehetőségeit [7].

Minden egyes képpont, mely digitálisan megjeleníthető, egy három szemjegyből álló kóddal jellemezhető, melyet RGB-kódnak nevezünk (a betűszó a színek angol neveiből Red, mint piros, Green, mint zöld és Blue, mint kék szavakból származnak). A számokat hexadecimális számrendszerben értelmezi a számítógép, így mindhárom érték 0 és 255 közötti számot vehet fel. Példaként a piros szín 255 R, 0 G és 0 B értékből keverhető ki, a fekete a színek hiánya, vagyis 0 R, 0 G és 0 B, míg a fehér a színek összessége, vagyis 255 R, 255 G és 255 B.

A képfeldolgozás a MATLAB programrendszer segítségével történt. Ez a MATLAB nem csak numerikus számítások, vektor- és mátrixműveletek elvégzésére, kettő- és háromdimenziós függvények megjelenítésére alkalmas, hanem képfeldolgozásra is. A fényképek beolvasása egy beépített függvény, az *imread* paranccsal végezhető el. A beolvasást követően a memóriába betöltődik egy mátrix, mely a fénykép magassága (i) x fénykép szélessége (j) x 3 méretet vesz fel. Jelen esetben nem volt szükség sok megelőző képszerkesztési feladatra, mivel az etalon szürke színű, a háttér kék, az előhozott hibák viszont piros színűek voltak. Abban az esetben, ha a vizsgálandó hibák nem különböznek el ilyen élesen a háttértől, valamilyen manipulációs technikát kell alkalmazni, melyek lehetnek: rétegek és csatornák változtatása, színek invertálása, színmélység változtatása, színhőmérséklet változtatása, fényerő és kontraszt változtatása.

3.2. Méretek összehasonlítása

Annak érdekében, hogy a hibák nagyságát ne csak pixelszámban lehessen megadni, hanem egy valós terület mértékegység kerüljön hozzárendelésre, egy plusz lépést kell a számítás menetébe illeszteni. A képek méretét úgy kell meghatározni, hogy a vizsgált kör alakú etalon pontosan a kép egyik szélétől a másikig terjedjen. Mivel az etalon valós mérete ismert ($\varnothing 57$ mm), a beolvasás után pedig ismert a mátrix mérete, így egy egyszerű osztással meghatározható egyetlen pixelnek a mérete, immár mm^2 vagy μm^2 dimenzióban.

1. táblázat. A folyadékbehatolási vizsgálat számszerűsített mérési eredményei

	hibák területe [mm^2]	hibák és etalon területek hányadosa [%]
1. ábra, bal oldal, tiszta felület $T=18^\circ\text{C}$, $t_b=5$ min, $t_e=10$ min	20,43	0,83
1. ábra, jobb oldal, tiszta felület $T=18^\circ\text{C}$, $t_b=5$ min, $t_e=25$ min	49,60	2,03
2. ábra, bal oldal, tiszta felület $T=18^\circ\text{C}$, $t_b=15$ min, $t_e=10$ min	310,66	12,74
2. ábra, jobb oldal, tiszta felület $T=18^\circ\text{C}$, $t_b=15$ min, $t_e=25$ min	342,06	14,03
3. ábra, bal oldal, tiszta felület $T=18^\circ\text{C}$, $t_b=30$ min, $t_e=10$ min	615,72	25,26
3. ábra, jobb oldal, tiszta felület $T=18^\circ\text{C}$, $t_b=30$ min, $t_e=25$ min	632,66	25,96
5. ábra, bal oldal, tiszta felület MR 68 C, $T=-10^\circ\text{C}$, $t_b=15$ min, $t_e=10$ min	45,94	1,88
5. ábra, jobb oldal, tiszta felület MR 68 C, $T=-10^\circ\text{C}$, $t_b=15$ min, $t_e=25$ min	58,97	2,42
7. ábra, bal oldal, tiszta felület MR 311-R, $T=-10^\circ\text{C}$, $t_b=15$ min, $t_e=10$ min	7,53	0,31
7. ábra, jobb oldal, tiszta felület MR 311-R, $T=-10^\circ\text{C}$, $t_b=15$ min, $t_e=25$ min	11,97	0,49

Már jelenleg is vannak kezdeményezések, melyekkel fel lehetne váltani a penetrációs vizsgálatokat olyan technikákra, melyek sokkal rövidebb idő alatt, sokkal kevesebb munkafolyamattal azonos eredményt adhatnak. Az egyik ilyen lehet a lézerrel elvégzett vizsgálatok [8]. Ezen módszerek során egy vékony lézersugár pásztázza a vizsgálandó próbatest felszínét, mely folyamat infravörös kamerával kerül megfigyelésre. A repedések környezetében a felület hőmérséklete megnő, mely egy számítógépes jelfeldolgozást követően információt szolgáltat a repedés létéről és helyéről.

4. Összefoglalás

A mérésekből jól látszik, hogy az előbb felsorolt tulajdonságok mindegyike döntően tudja befolyásolni az elvégzett vizsgálatok végeredményét, és akár hatalmas mérési hibák is elkövethetők. A felület előkészítés a folyadékbehatolások vizsgálat legelső lépése, amely, ha nem megfelelően történik, akkor számottevő különbség alakulhat ki az így, és a normál felületelőkészítés mellett elvégzett vizsgálat végeredménye között. Az is megállapítható, hogy ahogy nő a vizsgálószer behatolási és előhívási ideje, úgy egyre inkább pontos, valóság-hű eredmények érhetők el a vizsgálat végén.

A vizsgált berendezés hőmérséklete is meghatározó a vizsgálat szempontjából, hiszen ez alapján választható ki a vizsgálószer típusa, és végezhető el a vizsgálat. A normál környezeti hőmérsékleten (20°C-on) elvégzett vizsgálatok a legmegfelelőbbek a vizsgálat végeredményét tekintve, de ennél magasabb és alacsonyabb hőmérsékleten is ehhez viszonylag jól közelítő eredmények érhetők el a megfelelő vizsgálószer használatával. A képfeldolgozás MATLAB nyelven írt kódja viszonylag egyszerű, mely a jövőben tovább fejleszthető, mellyel már a kijelzett hibák mérete és iránya is kimutatható.

Irodalom

- [1] Chen, X.W., Li, Q.M. Deep penetration of a non-deformable projectile with different geometrical characteristics. *Int. J. Impact Eng.* 2002, 27(6):619–637. [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(02\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(02)00005-2)
- [2] Hassen, A.A., Taheri, H., Vaidya, U.K.: Non-destructive investigation of thermoplastic reinforced composites. *Compos. Part B Eng.* 2016, 97:244–254. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.05.006>
- [3] Sýkora, M., Diamantidis, D., Holický, M., Marková, J., Rózsás, Á.: Assessment of compressive strength of historic masonry using non-destructive and destructive techniques. *Constr. Build. Mater.* 2018, 193:, vol. 193:196–210. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.180>
- [4] Liu, C., Zhang, X., Chen, H., Wang, J., Wei, H., Xiong, W. Experimental and theoretical study on steel long-rod projectile penetration into concrete targets with elevated impact velocities. *Int. J. Impact Eng.* 2019, 138:103482. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.103482>
- [5] Roncsolásmentes Anyagvizsgálók Képzése: Folyadékbehatolások vizsgálata Tanfolyami Kézikönyv. Budapest, 2014.
- [6] Zhu, X., Ai, S., Fang, D., Liu, B., Lu, X. A novel modeling approach of aluminum foam based on MATLAB image processing. *Comput. Mater. Sci.* 2014, 82:451–456. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2013.10.020>
- [7] Zhang, D., Watson, R., Dobie, G., Macleod, C., Khan, A., Pierce, G.: Quantifying Impacts on Remote Photogrammetric Inspection Using Unmanned Aerial Vehicles. *Eng. Struct.* 2019,

- 10:109940. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109940>
- [8] Qiu, J., Pei, C., Liu, H., Chen, Z. Quantitative evaluation of surface crack depth with laser spot thermography,” *Int. J. Fatigue* 2017, 101:80–85.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2017.02.027>